

(E5)

d)

**Lean burn internal combustion engine exhaust gas depollution procedure  
uses modelled and actual measurements of NOx after catalytic converter to  
determine degree of ageing**

**BEST AVAILABLE COPY**

**Publication number:** DE10312440

**Also published as:**

**Publication date:** 2004-10-21

FR2852627 (A)

**Inventor:** SCHWARZ ROLAND (DE)

**Applicant:** SIEMENS AG (DE)

**Classification:**

- International: F01N11/00; F01N3/08; F01N9/00; F01N11/00;  
F01N3/08; F01N9/00; (IPC1-7): F01N11/00

- European: F01N11/00C

**Application number:** DE20031012440 20030320

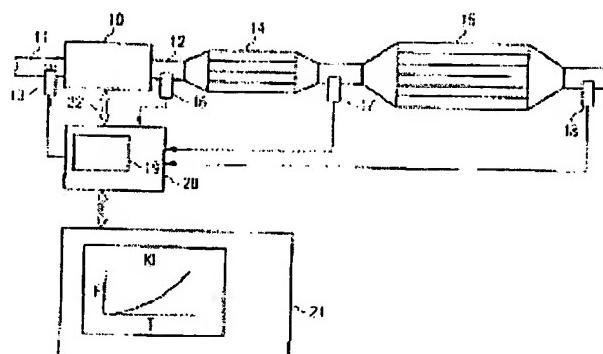
**Priority number(s):** DE20031012440 20030320

**Report a data error here**

Abstract not available for DE10312440

Abstract of corresponding document: **FR2852627**

The procedure, in which nitrogen oxides (NOx) are held in a storage catalytic converter (15) when the engine (10) is operating in a lean burn phase and then transformed catalytically when the engine is operated from time to time in a regeneration phase and their components discharged, consists of establishing a model for the concentration of NOx components after the catalytic converter, measuring the actual concentration, and determining the degree of ageing of the converter from the difference in the measured and modelled values. The measured or modelled NOx value can be subjected to a low-pass filter before the difference in values is calculated.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

d) E5



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 12 440 A1 2004.10.21

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 103 12 440.3

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: F01N 11/00

(22) Anmeldetag: 20.03.2003

(43) Offenlegungstag: 21.10.2004

(71) Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

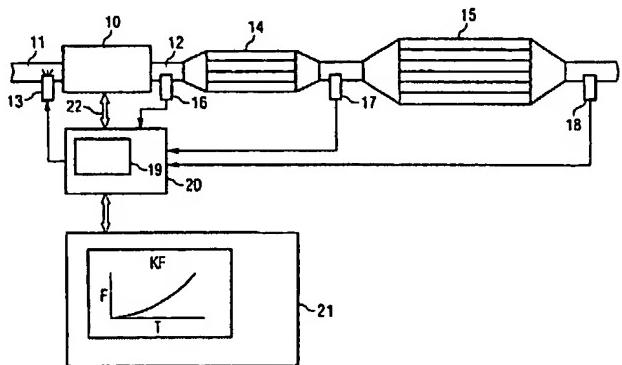
(72) Erfinder:  
Schwarz, Roland, Dr., 93173 Wenzenbach, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Abgasreinigungsverfahren für Magerbrennkraftmaschinen

(57) Zusammenfassung: Bei einem Abgasreinigungsverfahren für eine Magerbrennkraftmaschine (10) werden Regenerationsbetriebsphasen, basierend auf einem Modell, eingeleitet, wobei das Modell eine Zustandsgröße eines NOx-Speicherkatalysators (15) erfasst. Zusätzlich wird die Konzentration an NOx-Verbindungen stromab des NOx-Speicherkatalysators (15) bestimmt und mit einem aus dem Modell erhaltenen Modellwert für den NOx-Speicherkatalysator (15) zur Bildung einer Differenz verknüpft. Mithilfe des Differenzwertes erfolgt eine Bestimmung eines Alterungsfaktors für den NOx-Speicherkatalysator.



### Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Abgasreinigungsverfahren für eine magerbetreibbare Brennkraftmaschine, bei dem in einer Magerbetriebsphase von der Brennkraftmaschine emittierte NOx-Verbindungen in einem im Abgastrakt der Brennkraftmaschine befindlichen NOx-Speicherkatalysator gespeichert werden, wobei eine Beladung des NOx-Speicherkatalysators mit NOx-Verbindungen stattfindet, die Brennkraftmaschine zeitweise in Regenerationsbetriebsphasen betrieben wird, in denen der NOx-Speicherkatalysator gespeicherte NOx-Verbindungen katalytisch umsetzt und dadurch von NOx-Verbindungen entleert wird, wobei ein Wert für einen Alterungszustand des NOx-Speicherkatalysators unter Rückgriff auf ein die Emission an NOx-Verbindungen beschreibendes NOx-Modell ermittelt wird.

[0002] Um den Kraftstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen weiter zu reduzieren, kommen immer häufiger Brennkraftmaschinen zum Einsatz, die mit magerem Kraftstoff/Luft-Gemisch betrieben werden können, da der Wirkungsgrad einer Brennkraftmaschine im Magerbetrieb besonders hoch ist. Zur Erfüllung geforderter Abgasgrenzwerte ist jedoch im Magerbetrieb einer Brennkraftmaschine regelmäßig eine spezifische Abgasnachbehandlung erforderlich, da ansonsten Grenzwerte hinsichtlich zulässiger NOx-Emissionen überschritten würden.

[0003] Deshalb werden NOx-Speicherkatalysatoren verwendet, die aufgrund einer besonderen Beschichtung in der Lage sind, NOx-Verbindungen aus dem Abgas zu adsorbieren, die bei magerer Verbrennung entstehen. Zur Entleerung eines solchen NOx-Speicherkatalysators ist eine Regeneration erforderlich, in der gespeicherte NOx-Verbindungen im NOx-Speicherkatalysator in unschädliche Verbindungen umgewandelt werden, wenn ein Reduktionsmittel zugegeben wird.

[0004] Als Reduktionsmittel können Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Kohlenwasserstoff verwendet werden. Es hat sich als zweckmäßig herausgestellt, diese durch kurzzeitigen Betrieb der Brennkraftmaschine mit einem fetten Kraftstoff/Luft-Gemisch zu erzeugen, wodurch der NOx-Speicherkatalysator das notwendige Reduktionsmittel als Bestandteil des ihm ohnehin zugeführten Abgases erhält und gespeicherte NOx-Verbindungen abbaut, so dass er wieder zur erneuten Einspeicherung von NOx-Verbindungen in der Lage ist. Dieser kurzzeitige Betrieb der Brennkraftmaschine stellt die erwähnte Regenerationsbetriebsphase dar.

[0005] Durch solche Regenerationsbetriebsphasen sinkt der Wirkungsgrad, d.h. der Kraftstoffverbrauch steigt. Darüber hinaus tritt während der Regenerati-

onsbetriebsphase ein zwar oftmals nur geringer, jedoch prinzipiell unvermeidlicher Schlupf an Reduktionsmittel durch den NOx-Speicherkatalysator auf, wodurch in der Regenerationsbetriebsphase das Abgasverhalten der Brennkraftmaschine verschlechtert ist. Aus diesen Gründen möchte man Regenerationsbetriebsphasen nur dann einleiten, wenn sie wirklich zur Entleerung des NOx-Speicherkatalysators erforderlich sind.

[0006] Es ist deshalb der Stand der Technik bekannt, die Einleitung der Regenerationsbetriebsphasen bedarfsabhängig zu gestalten. Ein wesentliches Kriterium, wann eine Regenerationsbetriebsphase eingeleitet werden sollte, ist die gegenwärtige Speicherfähigkeit des NOx-Speicherkatalysators, die wiederum von der aktuell vorliegenden Beladung des NOx-Speicherkatalysators abhängt. Mit zunehmender Dauer der Magerbetriebsphase und dabei erfolgender Einspeicherung von NOx-Verbindungen nimmt der Speicherwirkungsgrad kontinuierlich ab, so dass unter Berücksichtigung der Abgasgrenzwerte eine Regenerationsbetriebsphase erforderlich wird. Darüber hinaus unterliegt die maximale Speicherkapazität eines NOx-Speicherkatalysators einem Alterungsprozess, so dass es nötig ist, über die Lebensdauer eines NOx-Speicherkatalysators eine entsprechende Adaption durchzuführen. Dazu wird üblicherweise ein Alterungsfaktor bestimmt, der die alterungsbedingte Abnahme der maximalen Speicherkapazität angibt.

### Stand der Technik

[0007] Diesbezüglich ist es bekannt, beispielsweise aus dem in der DE 198 44 082 C1 beschriebenen Ansatz, während einer Regenerationsphase die Menge an zugeführtem Regenerationsmittel zu erfassen und daraus auf die in der Regenerationsphase aus dem NOx-Speicherkatalysator entleerte Menge an NOx-Verbindungen rückzuschließen. Vergleicht man die derart ermittelte Menge an NOx-Verbindungen, die zum Beginn der Regenerationsphase, mithin zum Ende der Magerbetriebsphase im NOx-Speicherkatalysator eingespeichert war, mit der Menge an NOx-Verbindungen, die eine Modellrechnung als während der vorangegangenen Magerbetriebsphase von der Brennkraftmaschine emittiert anzeigt, lässt sich die tatsächliche maximale Speicherkapazität des NOx-Speicherkatalysators entsprechend korrigieren. Ein entsprechendes NOx-Modell ist beispielsweise in der EP 0 597 102 A1 beschrieben; es liefert die von der Brennkraftmaschine emittierte NOx-Rohemission stromauf eines NOx-Speicherkatalysators in Abhängigkeit von Betriebsdaten der Brennkraftmaschine und ermöglicht es, die im NOx-Speicherkatalysator adsorbierte Menge an NOx-Verbindungen modellhaft zu berechnen.

[0008] Dieser Ansatz liefert einen Wert für den Alte-

rungszustand des NOx-Speicherkatalysators zum Ende einer Regenerationsphase, nicht jedoch zu anderen Zeitpunkten.

**[0009]** Ein weiteres bekanntes Verfahren, wie in WO 99/61770 beschrieben, bestimmt den Alterungsfaktor aus dem NOx-Konzentrationsgefälle über dem NOx-Katalysator, das bei Regenerationseinleitung vorliegt. Hierbei wird mittels der mit einem Messwertsensor gemessenen NOx-Konzentration stromab des NOx-Speicherkatalysators und der NOx-Konzentration stromauf dem NOx-Speicherkatalysator, die mit einem NOx-Modell bestimmt wird, ein Beladungsgrad des Speichers und durch einen Vergleich mit einem modellierten Beladungsgrad eines neuen Katalysators eine Alterungsfaktor bestimmt. Der Alterungsfaktor ist dann punktuell zum Beginn einer Regenerationsphase bekannt.

**[0010]** Die geschilderten Verfahren zur Bestimmung des Alterungsfaktors eines NOx-Speicherkatalysators benötigen somit ein NOx-Modell, das die NOx-Emission einer Brennkraftmaschine für einen jeweiligen Betriebspunkt anzeigt. Ungenauigkeiten führen hier nicht nur zu erhöhtem Kraftstoffverbrauch, sondern mitunter auch dazu; dass ein NOx-Speicherkatalysator wegen vermeintlich zu starker alterungsbedingter Abnahme der maximalen Speicherkapazität ausgetauscht werden muss, obwohl der Austausch eigentlich bei einer genaueren Betrachtung (noch) gar nicht nötig wäre. Weiter ist eine Alterungsfaktorermittlung nur zu ganz bestimmten Zeitpunkten im Betrieb möglich.

#### Aufgabenstellung

**[0011]** Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zu grunde, eine vereinfachte und genauere Bestimmung des Alterungszustandes eines NOx-Speicherkatalysators zu ermöglichen.

**[0012]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Abgasreinigungsverfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei dem mittels des Modells eine Konzentration der NOx-Verbindungen stromab des NOx-Speicherkatalysators in Form eines NOx-Modellwertes ermittelt wird, stromab des NOx-Speicherkatalysators im Abgastakt eine Konzentration der NOx-Verbindungen in Form eines NOx-Messwertes gemessen wird und die Differenz zwischen NOx-Messwert und NOx-Modellwert bestimmt und in den Wert für den Alterungszustand umgesetzt wird.

**[0013]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist wahlweise mit einem oder beiden der oben angeführten Verfahren kombinierbar: Es ergibt sich jedoch auch vorteilhaft die Möglichkeit auf alle anderen Verfahren zur Alterungsadaption zu verzichten. Man erreicht eine einfache Bestimmung des Alterungszustandes des NOx-Speicherkatalysators.

**[0014]** Die Erfindung verwendet in Abkehr von bisherigen Konzepten, die entweder eine zeitlich punktuelle Betrachtung über Auswertung eines Regenerationsmittelintegrals nach Regenerationsende oder eine Auswertung des NOx-Konzentrationsgefälles zu Beginn einer Regeneration zur Bestimmung des Alterungszustandes vorsahen, eine kontinuierliche Beobachtung beruhend auf Messung und Modellierung. In einem Modell wird z.B. über Einspeicherungsgrad und Belastungsgrad die NOx-Konzentration stromab des NOx-Speicherkatalysators ermittelt. Dazu können die aus dem Stand der Technik bekannten vorerwähnten Modelle herangezogen werden. Zusätzlich erfolgt stromab des NOx-Speicherkatalysators eine NOx-Konzentrationsmessung. Die Differenz zwischen der modellbasiert ermittelten NOx-Konzentration und aus der Konzentrationsmessung, ist ein Maß für den Alterungszustand des NOx-Speicherkatalysators.

**[0015]** Der Vorteil dieses Ansatzes ist, dass ein Wert für den Alterungszustand während jeder Magerbetriebsphase der Brennkraftmaschine zu jedem Zeitpunkt zur Verfügung steht, wogegen bei bekannten Verfahren die der Katalysatoralterung entweder nur bei Beginn der Regeneration oder bei Regenerationsende ermittelt werden kann. Weiter wird die Durchführung durch eine Vielzahl zu erfüllender Randbedingungen eingeschränkt und ist auch daher nur punktuell möglich.

**[0016]** Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass eine Abweichung zwischen Modell und NOx-Konzentrationsmessung bei einer NOx-Abgasreinigungsanlage im wesentlichen durch eine alterungsbedingte Veränderung, d.h. Verschlechterung, des NOx-Speicherkatalysators bedingt ist. Die Abweichung in Form der Differenz zwischen Messung und Modell, die zur Korrektur des Modells herangezogen wird, ist deshalb als Maß für den Alterungszustand des NOx-Speicherkatalysators tauglich. Verwendet man zur Anpassung des Modells an den Messwert einen Adoptionsregler, ist die Regelabweichung abhängig vom Alterungsfaktor. Natürlich können je nach Betriebszustand der Brennkraftmaschine auch kurzfristige Einflüsse das Modell verfälschen, die nicht mit dem Alterungszustand des NOx-Speicherkatalysators zu tun haben. Es besteht deshalb die Möglichkeit, unter Zuhilfenahme statistischer Methoden lediglich langfristige konstante Basisabweichungen zwischen Modell und Messung, beispielsweise Basisabweichung der erwähnten Reglers, der Katalysatorordnung zuzuordnen und kurzfristige Abweichung, die beispielsweise durch den Luftfeuchteinfluss auf die NOx-Rohemission bedingt sein können, auf eine Änderung der Rohemission der Brennkraftmaschine zurückzuführen. Eine besonders einfache Möglichkeit diese Zuordnung vorzunehmen, ist eine Tiefpassfilterung, die den Alterungsfaktor bzw. eine für dessen Bestimmung wesentliche Größe,

welche beispielsweise die Differenz oder die entsprechenden Messwerte oder Modellwerte, einer Tiefpassfilterung zu unterwerfen, um kurzfristige Einflüsse auszuschließen.

[0017] Eine alternative Möglichkeit ist es, Rohemissionsschwankungen zu vernachlässigen. Dies bietet sich vorzugsweise bei bekannt emissionsstabilen Brennkraftmaschinen an. Alternativ oder zusätzlich kann die Bestimmung des Wertes für den Alterungszustand auf emissionsstabile, ausgewählte Betriebspunkte der Brennkraftmaschine begrenzt werden. Ein solcher Betriebspunkt ist beispielsweise der Betrieb der Brennkraftmaschine mit geschlossenem Abgasrückführventil. In einem solchen Fall ist es vorteilhaft, zusätzlich eine Bestimmung der Differenz und Abgleich des Modells beim erstmaligen Inbetriebnahme der Brennkraftmaschine bzw. der Abgasreinigungsanlage durchzuführen, um serienbedingte Exemplarstreuungen bezüglich der NOx-Rohemission auszugleichen. Der Verzicht auf eine Separierung langfristiger und kurzfristiger Einflüsse auf die Differenz zwischen NOx-Wert und NOx-Modellwert hat den Vorteil, dass unaufwendige Systeme möglich sind, weil auf eine parallele Alterungsbestimmung nach anderen Verfahren verzichtet werden kann.

[0018] Es ist eine Weiterbildung bevorzugt, bei der mehrmals der Wert für den Alterungszustand ermittelt wird und dieser tiefpassgefiltert wird. Eine zusätzliche Weiterbildung sieht vor, dass nach bisher bekannten Methoden und unter Berücksichtigung eventuell einschränkender Randbedingungen Alterungsfaktoren bestimmt werden. Zwischen den einzelnen Bestimmungszeitpunkten kann im Praxisbetrieb eine lange Zeit (Wegstrecke) liegen (> 1.000 km). Während dieser Zeit, in der kein neuer Alterungsfaktor nach den bisher bekannten Methoden bestimmt werden kann, kann der erfindungsgemäß bestimmte Alterungsfaktor verwendet werden, entweder ersatzweise oder um den schon vorliegenden Wert weiterzuführen. Hierzu kann z.B. ein Tiefpassfilter verwendet werden. Bei neuerlicher Bestimmung eines Alterungsfaktors nach einer bekannten Methode kann dann ein Abgleich erfolgen.

[0019] Durch die Verwendung sowohl eines Modells als auch eines Messaufnehmers für die NOx-Konzentration wird eine vorteilhafte Redundanz geschaffen, da bei Ausfall des Modells oder Ausfall der Messstelle dennoch ein Ausweichen der Betrieb der Abgasreinigungsanlage sichergestellt ist. Gegenüber einem bekannten Messwert basierten Verfahren besteht größere Unempfindlichkeit bezüglich Sensorausfällen oder Fehler behafteten Sensorsignalen, da jederzeit die NOx-Modellwerte zur Verfügung stehen, die unter Berücksichtigung des bestimmten Alterungszustandes eine genaue Steuerung der Regenerationsbetriebsphasen bzw. der Magerbetriebsphasen ermöglichen. Dadurch kann auch bei kurzzeiti-

gem oder kurzfristigem Sensorausfall eine Magerbetriebsphase sicher beendet und eine erforderliche Regenerationsbetriebsphase eingeleitet werden. Durch einen ungenauen Alterungszustand erforderliche Sicherheitsreserven bezüglich der Dauer einer Magerbetriebsphase, die ansonsten zu garantierten Einhaltung von Abgasgrenzwerten erforderlich wären, können verringert werden, wodurch der Kraftstoffverbrauch sinkt.

[0020] Durch die Adaption des NOx-Modells unter Rückgriff auf die gemessenen NOx-Konzentrationswerte wird nicht nur eine genauere Steuerung des Betriebs der NOx-Abgasreinigungsanlage bewirkt, sondern nunmehr vorteilhafterweise zugleich auch ein Wert für den Alterungszustand des NOx-Speicherkatalysators erhalten, der durch die bei der Adaption auszugleichende Differenz gegeben wird, bzw. abhängig davon erhalten wird. Der erfindungsgemäße Ansatz kombiniert eine sehr hohe Genauigkeit mit einem sehr robusten Verfahren. Eine Alterungsbestimmung nach bisher bekannten Verfahren, die zum Teil rechenaufwendig ist, kann dann entfallen.

[0021] Für das erfindungsgemäße Abgasreinigungsverfahren ist es besonders zweckmäßig, den Alterungsfaktor aus der aktuellen Speicherkapazität des NOx-Speicherkatalysators zu bestimmen, wobei ein Verhältnis von aktueller Speicherkapazität zu einer vorgegebenen Referenz-Speicherkapazität den Alterungsfaktor definiert. Damit erfüllt das erfindungsgemäße Verfahren die Anforderung an eine ständige Systemüberwachung (on-board Diagnose).

[0022] Modellbasierte Verfahren zur Bestimmung des Beladungszustandes eines NOx-Speicherkatalysators erlauben die Bereitstellung sehr aktueller Werte, wenn eine Berechnung mit entsprechend schnellen Aktualisierungszyklen erfolgt. Dann kann mit einem Modell ein sehr zeitaktueller Wert für die vom NOx-Speicherkatalysator und damit der Abgasreinigungsanlage abgegebene NOx-Verbindung erhalten werden. Messaufnehmer haben demgegenüber oft eine gewisse Totzeit, bis sie auf eine Änderung der NOx-Konzentration ansprechen. Dies ist besonders bei kostengünstigen Messaufnehmern der Fall, die regelmäßig nur ein stark tiefpassgefiltertes Messsignal abgeben. Für solche Kombinationen ist es zu bevorzugen, vor der Differenzbildung zwischen NOx-Messwert und NOx-Modellwert, den NOx-Modellwert Tiefpass zu filtern, um die Aussagefähigkeit der Differenz zu steigern. Ansonsten würde ein zeitlich aktuellerer Wert in einer Differenz mit einem etwas zeitlich verzögerten Wert zusammengeführt.

[0023] Für den Fall, dass die Berechnungen im Modell mit einer geringeren Taktrate erfolgen, was unter dem Gesichtspunkt geringeren Rechenaufwands in einer Betriebssteuereinheit der Brennkraftmaschine

erforderlich sein kann, kann es, insbesondere bei der Verwendung hochpräziser und schneller Messaufnehmer im Abgastrakt zu umgekehrten Verhältnissen kommen, d. h. der NOx-Modellwert kann zeitlich gegenüber dem NOx-Messwert verzögert sein. In einem solchen Fall ist eine Tiefpassfilterung des NOx-Messwertes zu bevorzugen.

**[0024]** Die erfindungsgemäß bestimmte Differenz kann auf verschiedene Weisen zur Ermittlung eines Alterungsfaktors verwendet werden. Z.B. kann sie zur Korrektur des Modells berücksichtigt werden und aus der vorgenommenen Korrektur der Alterungsfaktor ermittelt werden. Das Vorgehen hängt im wesentlichen vom verwendeten Modell ab. Bei analytisch arbeitenden Modellen, die eine Rückrechnung von NOx-Konzentration auf den Beladungsgrad erlauben bzw. bei Modellen, die den NOx-Modellwert als Zustandsgröße verwenden, kann die Differenz direkt zur Korrektur des Modells eingesetzt werden, indem ein entsprechender Korrekturfaktor für die Zustandsgröße bei der Ermittlung des NOx-Modellwertes eingeführt wird, der von der berechneten Differenz abhängt.

**[0025]** Bei Modellen, die als wesentliche Bestandteile auf Kennfelder zugreifen, ist es zweckmäßig, die Differenz mittels eines Kennfeldes zur Korrektur der im Modell verwendeten Zustandsgröße einzusetzen. Diese kennfeldbasierte Berücksichtigung der Differenz kann auch bei anderen Modellen, die nicht wesentlich auf Kennfelder zur Einleitung von Regenerationsbetriebsphasen bauen, zur Korrektur zweckmäßig sein, da damit mitunter der Rechenaufwand gemindert wird.

**[0026]** Die Verwendung des errechneten Wertes der Differenz zwischen NOx-Modellwert und NOx-Messwert zur Durchführung der Korrektur des Modells kann in einem besonders einfachen Fall mittels eines Umrechnungsfaktors erfolgen, der mit dem errechneten Wert der Differenz multiplikativ verknüpft wird. Der Umrechnungsfaktor bildet somit eine proportionale Beziehung zwischen Differenz und zu korrigierender Zustandsgröße ab. Dieser lineare Ansatz führt mit relativ geringem Aufwand zu einer verblüffend guten Korrektur.

**[0027]** In besserer Näherung kann diese Proportionalität zu einem beliebigen funktionalen Zusammenhang erweitert werden, indem der Umrechnungsfaktor einem Kennfeld entnommen wird. Da die Differenz zwischen NOx-Modellwert und NOx-Messwert im wesentlichen eine Aussage über den vom Modell bei der Beurteilung des Zustandes des NOx-Speicherkatalysators gemachten Fehler beinhaltet, ist es vorteilhaft, dieses Kennfeld abhängig von Größen zu wählen, die sich stark auf die Zustandsgröße auswirken. Dies sind in erster Linie die Temperatur des NOx-Speicherkatalysators sowie die Konzentra-

tion an NOx-Verbindungen, die dem NOx-Speicherkatalysator mit dem Rohabgas zugeführt wird.

**[0028]** Es ist deshalb zu bevorzugen, das Kennfeld, dem der Umrechnungsfaktor entnommen wird, abhängig von NOx-Speicherkatalysatortemperatur und der Konzentration von NOx-Verbindungen im Rohabgas zu gestalten.

**[0029]** Die dabei in das Kennfeld eingehenden Größen können ihrerseits wieder aus einem Modell stammen, oder auch aus Messwerten gewonnen sein. Dies hängt von der Detailausgestaltung des verwendeten Modells ab. So sind Temperaturmodelle bekannt, um die wirkliche Temperatur des Katalysators, die sich auf seinen Wirkungsgrad auswirkt, zu bestimmen. Hierzu kann beispielsweise auf die DE 198 36 955 A1 der Anmelderin verwiesen werden.

**[0030]** Ähnliches gilt für die NOx-Konzentration im Rohabgas; auch hierzu sind Modelle bekannt, beispielsweise ein kennfeldbasierter Ansatz, wie er in der WO 98/55742 der Anmelderin beschrieben ist.

**[0031]** Die Verknüpfung der aus Umrechnungsfaktor und Differenz errechneten Korrekturgröße zu einer Zustandsgröße des Modells kann prinzipiell multiplikativ wie additiv erfolgen. Eine additive Verknüpfung hat jedoch den Vorteil, dass der Korrekturfaktor eine absolute Abweichung der Zustandsgröße wiedergibt und damit einen kontinuierlichen Modellversatz anzeigt, der sehr viel häufiger auftritt, als ein prozentualer Fehler. Darüber hinaus bietet sich bei additiver Verknüpfung die Möglichkeit, in einer Weiterbildung der Erfindung einen Offsetwert in Form eines Restwertes der Zustandsgröße bei vollständig rege-neriertem NOx-Speicherkatalysator festzustellen.

**[0032]** Verwendet man als Zustandsgröße den Beladungsgrad, stellt der Modellversatz den Restbeladungsgrad dar, die sich beispielsweise anströmungsbedingt im NOx-Speicherkatalysator einstellt und auch dann vorliegt, wenn das Modell anzeigt, der NOx-Speicherkatalysator sei vollständig von NOx-Verbindungen entleert.

**[0033]** In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist deshalb vorgesehen, dass direkt nach dem Ende einer Regenerationsphase eine Korrektur des im Modell verwendeten Beladungsgrades durchgeführt wird, wobei aus der Differenz zugleich ein Restbeladungsgrad des NOx-Speicherkatalysators ermittelt und dieser weiter im Modell berücksichtigt wird.

#### Ausführungsbeispiel

**[0034]** Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die C Zeichnungen beispielshalber noch näher erläutert. In den Zeichnungen zeigt:

[0035] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine mit einem NOx-Speicherkatalysator,

[0036] Fig. 2 ein schematisches Ablaufdiagramm zur Durchführung eines Verfahrens zur Abgasreinigung und

[0037] Fig. 3 ein Ablaufdiagramm eines Abschnittes eines Verfahrens zur Abgasreinigung.

[0038] In Fig. 1 ist in Form eines Blockschaltbildes eine Brennkraftmaschine mit einer Abgasnachbehandlungsanlage gezeigt, bei der ein noch zu erläuterndes Verfahren zur Abgasreinigung eingesetzt wird. Dabei sind in der Fig. 1 nur diejenigen Bestandteile einer Brennkraftmaschine bzw. der Abgasnachbehandlungsanlage gezeigt, die für das Verständnis des Verfahrens erforderlich sind.

[0039] Eine Brennkraftmaschine 10 weist einen Ansaugtrakt 11 und einen Abgastrakt 12 auf. Im Ansaugtrakt 11 ist eine Kraftstoffzumesseinrichtung vorhanden, für die stellvertretend schematisch ein Einspritzventil 13 eingezeichnet ist. Das Einspritzventil 13 spritzt in den Ansaugtrakt 11 Kraftstoff ein. Alternativ zur Einspritzung in den Ansaugtrakt kann der Kraftstoff auch direkt in die Zylinder der Brennkraftmaschine in Form einer Direkteinspritzung eingebracht werden. Im Abgastrakt 12, in den die Brennkraftmaschine 10 ihr Abgas abgibt, ist eine Abgasnachbehandlungsanlage vorgesehen. Sie weist einen möglichst nahe der Brennkraftmaschine angeordneten Drei-Wege-Katalysator 14 auf, dem in Strömungsrichtung des Abgases ein NOx-Speicherkatalysator 15 nachgeschaltet ist.

[0040] Aufgrund seiner Lage vor dem NOx-Speicherkatalysator 15 wird der Drei-Wege-Katalysator auch als Vorkatalysator bezeichnet. Die Auswahl und Auslegung dieses Vorkatalysators erfolgt hinsichtlich schnellem Ansprechverhalten und Sauerstoffspeicherkapazität. Damit während des noch zu erläuternden Fettbetriebes in einer Regenerationsphase bereitgestelltes Regenerationsmittel möglichst unvermindert dem NOx-Speicherkatalysator 15 zugeführt wird, sollte der Vorkatalysator eine möglichst geringe Sauerstoffspeicherkapazität aufweist. Darüber hinaus sollte er eine möglichst weitgehende Oxidation von Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid durchführen, da sich dies in Magerbetriebsphasen der Brennkraftmaschine 10 günstig auf die Arbeit des NOx-Speicherkatalysators 15 auswirkt.

[0041] Der NOx-Speicherkatalysator 15 speichert in Magerbetriebsphasen der Brennkraftmaschine 10 abgegebene NOx-Verbindungen. Er weist weiter eine Beschichtung auf, die bei stöchiometrischem Betrieb der Brennkraftmaschine 10 dem NOx-Speicherkatalysator 15 auch katalytische Drei-Wege-Funktion ver-

leiht.

[0042] Zum Betrieb der Abgasnachbehandlungsanlage sind Sensoren vorgesehen, die einen Sauerstoffmesssaufnehmer 16 stromaufwärts des Vorkatalysators, einen Temperatursensor 17 nahe dem NOx-Speicherkatalysator 15 und einen weiteren Sauerstoffmesssaufnehmer 18 stromabwärts des NOx-Speicherkatalysators 15 umfassen.

[0043] Alle Sensoren sowie die Kraftstoffzumessseinrichtung sind über nicht näher bezeichnete Leitungen mit einem Steuergerät 20 verbunden, das einen Lambdaregler 19 enthält, der später noch näher erläutert wird.

[0044] Als Sauerstoffmesssaufnehmer 16 wird vorzugsweise eine Breitband-Lambdasonde eingesetzt, die in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt im Abgas ein stetiges, z.B. ein lineares Ausgangssignal abgibt. Aus dem Signal dieser Breitband-Lambdasonde 16 bestimmt das Steuergerät 20 die Luftzahl, mit der die Brennkraftmaschine 10 betrieben wurde. Dabei wird der Lambdaregler 19 aktiv, der den Lambdawert im stöchiometrischen Betrieb der Brennkraftmaschine 10 entsprechend Sollvorgaben regelt. Die Regelung im optimalen Lambda-Bereich der Brennkraftmaschine mittels des Sauerstoffmesssaufnehmers 18, der vorzugsweise als binäre Lambdasonde (2-Punkt-Lambda-Sonde) ausgebildet ist, ist eine bekannte Führungsregelung auf einen festen Lambdawert nahe 1. Dazu kann auch eine zwischen Vorkatalysator und NOx-Speicherkatalysator angeordnete Lambda-Sonde verwendet werden.

[0045] Im Sauerstoffmesssaufnehmer 18 ist gleichzeitig ein NOx-Messaufnehmer integriert. Solche Messaufnehmer sind beispielsweise aus der Veröffentlichung N. Kato et al., „Performance of thick film NOx-sensor on diesel and gasoline engines“, Society of Automotive Engineers, Publ. Nr. 970858, bekannt. Ein solcher Messaufnehmer gibt sowohl einen Lambda-Wert anzeigenndes Signal auch ein entsprechendes Signal für die NOx-Konzentration im Abgas. Nachfolgend wird deshalb von einem NOx-Messaufnehmer 18 gesprochen.

[0046] Die Temperatur des NOx-Speicherkatalysators, die im nachfolgenden Verfahren ausgewertet ist, wird aus dem Signal des Temperatursensors 17 mittels eines Temperaturmodells errechnet, da der Temperatursensor 17 nur die Temperatur des in den NOx-Speicherkatalysator einströmenden Abgases anzeigt, welches sich von der Temperatur im NOx-Speicherkatalysator unterscheidet. Alternativ könnte die Temperatur des NOx-Speicherkatalysators 15 auch direkt gemessen werden, indem beispielsweise ein Temperatursensor unmittelbar am oder im Gehäuse des NOx-Speicherkatalysators 15 angeordnet wird.

[0047] Das Steuergerät 20 ist weiter über eine nicht näher bezeichnete Datenleitung mit einem Kennfeldspeicher 21 verbunden, in dem entsprechende Kennfelder, auf die noch zu sprechen kommen sein wird, abgelegt sind.

[0048] Zur Einleitung der Regenerationsbetriebsphasen der Brennkraftmaschine 10, in denen diese mit fettem Kraftstoff/Luft-Gemisch betrieben wird, um das für die Regeneration des NOx-Speicherkatalysators 15 erforderliche Regenerationsmittel im Rohabgas der Brennkraftmaschine 10 bereitzustellen, wird ein Modell verwendet, das an sich bekannt ist. Hierzu wird vollumfänglich auf die DE 196 07 151 C1 der Anmelderin verwiesen. Wesentlich für das Verständnis des nachfolgenden Verfahrens ist hierbei, dass dieses Modell den Beladungsgrad des NOx-Speicherkatalysators als Zustandsgröße auswertet, ob eine Regenerationsbetriebsphase eingeleitet werden soll. Weiter liefert dieses Modell, das in Fig. 2 schematisch mit einem Block S1 bezeichnet ist, einen NOx-Modellwert  $C_{NOx\_Model}$  für die vom NOx-Speicherkatalysator 15 abgegebene NOx-Konzentration.

[0049]  $C_{NOx\_Model}$  wird in einem Schritt S2 einer Tiefpassfilterung mit einem Tiefpassfilter TP unterzogen, da aufgrund des hohen Rechentaktes des Steuergerätes 20 der NOx-Modellwert  $C_{NOx\_Model}$  sehr aktuell ist, aktueller als der vom NOx-Messaunehmer 18, der in Fig. 2 als Block S3 dargestellt ist, gelieferte NOx-Messwert  $C_{NOx\_Sensor}$ .

[0050] Der Tiefpassfilter 10 ist in seinen Filtereigenschaften auf die Ansprechgeschwindigkeit des NOx-Messaunehmers 18 abgestimmt. Dabei wird auch die Gaslaufzeit zwischen Ausgang des NOx-Speicherkatalysators 15 und dem NOx-Messaunehmer 18 berücksichtigt. Insbesondere kann der Tiefpassfilter TP dazu betriebsparameterabhängig ausgelegt werden.

[0051] Der vom Tiefpassfilter TP abgegebene tiefpassgefilterte Wert  $C_{NOx\_Model\_TP}$  wird in einem Schritt S4 mit dem NOx-Messwert  $C_{NOx\_Sensor}$  in Form einer Differenzbildung verknüpft. Dadurch wird die Konzentrationsdifferenz  $\Delta C_{NOx}$  erhalten.  $\Delta C_{NOx}$  stellt die Abweichung der modellbasierten Aussage über die vom NOx-Speicherkatalysator 15 abgegebene NOx-Konzentration vom NOx-Messwert dar.

[0052] Die Konzentrationsdifferenz  $\Delta C_{NOx}$  wird dann in einem Schritt S5 mit einem Faktor F verknüpft, der dem Kennfeldspeicher 21 entnommen wurde. Nach Durchführung des Schrittes S5 steht ein Korrekturfaktor  $SK_{Beladung\_KOR}$  zur Verfügung, der mit dem im Modell verwendeten Beladungsgrad des NOx-Speicherkatalysators 15 verknüpft werden kann, um eine Korrektur zu bewirken. Der Korrektur-

faktor wird über ein Kennfeld in einen Alterungsfaktor A umgesetzt.

[0053] Die Gewinnung des Korrekturfaktors  $SK_{Beladung\_KOR}$  ist in Fig. 3 detaillierter dargestellt.

[0054] Fig. 3 zeigt Teilschritte S6 bis S9, die in Fig. 2 im Schritt S5 zusammengefasst sind. Zuerst wird in einem Schritt S6 die Temperatur  $T_{SK}$  des NOx-Speicherkatalysators 15 ermittelt. Dazu wird unter Rückgriff auf den Temperatursensor 17 mittels des eingangs erwähnten Temperaturmodells, wie es in der hier ebenfalls vollumfänglich einbezogenen DE 198 36 955 A1 der Anmelderin beschrieben ist, die Temperatur  $T_{SK}$  des NOx-Speicherkatalysators festgestellt. Weiter wird in einem Schritt S7 die dem NOx-Speicherkatalysator zugeführte Vor- kat-NOx-Konzentration  $NOx_{VK}$  aus aktuellen Werten von Betriebsparametern der Brennkraftmaschine berechnet und ggf. gefiltert. Hierzu wird wiederum auf den Kennfeldspeicher 21 zugegriffen.

[0055] Nun wird in einem Schritt S8 aus einem Kennfeld KF ein Wert für den Faktor F entnommen, der von der Temperatur  $T_{SK}$  und der Vor- kat-NOx-Konzentration  $NOx_{VK}$  abhängt. Der derart erhaltene Faktor F wird dann multiplikativ mit der Konzentrationsdifferenz  $\Delta C_{NOx}$  verknüpft, wodurch der Korrekturfaktor  $SK_{Beladung\_KOR}$  erhalten wird.

[0056] Der Korrekturfaktor  $SK_{Beladung\_KOR}$  beschreibt den Alterungszustand. Er wird deshalb im Modell geeignet bei der Bestimmung des Beladungsgrades eingesetzt. Durch diesen Schleifenschluss erfolgt eine Regelung des Modells derart, dass im Endeffekt die Konzentrationsdifferenz  $\Delta C_{NOx}$  verschwindet, so dass bei korrektem Alterungsfaktor das Modell optimal korrigiert ist. Um kurzzeitige Einflüsse, die z.B. Umgebungsbedingungen auf die NOx-Emission einer Brennkraftmaschine haben können, auszuschalten, wird der Korrekturfaktor  $SK_{Beladung\_KOR}$  zur Gewinnung des Alterungsfaktors mit einer Zeitkonstante tiefpassgefiltert, die groß gegen die Zeitskala der kurzzeitigen Einflüsse ist. Beispielsweise wird eine Mittelwertbildung über mehrere Stunden, Tage oder Wochen vorgenommen, um aus  $SK_{Beladung\_KOR}$  den Alterungsfaktor A zu erzeugen.

[0057] Weiter eröffnet dieses Konzept eine Plausibilisierung der Regelung derart, dass bei zu großen Konzentrationsdifferenzen  $\Delta C_{NOx}$  eine weitere Betriebssteuerung wahlweise nur unter Rückgriff auf den NOx-Messwert oder den NOx-Modellwert erfolgt. Diese Regelschleife kann zusätzlich um einen Integralanteil erweitert werden, so dass die Abweichung zwischen NOx-Modellwert und NOx-Messwert mittels eines PI-Reglers zu Null geregelt wird. Für den

I-Anteil gilt dabei das für den P-Anteil darstellenden Faktor F gesagte sinngemäß.

[0058] In einer weiteren Anwendung des eingangs geschilderten Verfahrens kann aus dem Korrekturfaktor SK\_Beladung\_KOR eine Restbeladung des NOx-Speicherkatalysators 15 nach Durchführung einer Regenerationsbetriebsphase ermittelt werden.

[0059] Dazu wird das in Fig. 2 dargestellte Verfahren direkt nach Schluss einer Regenerationsbetriebsphase und zu Beginn einer Magerbetriebsphase ausgeführt. Der Schluss einer Regenerationsbetriebsphase kann entweder wiederum rein modellbasiert oder wie in der erwähnten DE 198 44 082 C1 beschrieben, gewählt werden. Der direkt nach Durchführen einer solchen Regenerationsbetriebsphase ermittelte Restbeladungsgrad des NOx-Speicherkatalysators 15 gibt Aussage über eine NOx-Menge, die aus dem NOx-Speicherkatalysator in einer normalen Regenerationsbetriebsphase nicht mehr desorbiert werden kann.

[0060] Dieser Restbeladungsgrad kann als nachfolgend bei der Ausführung des Modells fest berücksichtigte Größe Einsatz finden. Alternativ kann bei einem zu hoch ansteigenden Restbeladungsgrad bzw. bei einem Korrekturfaktor SK\_Beladung\_KOR, der einen bestimmten Schwellenwert überschreitet, eine besondere Regeneration eingeleitet werden, z. B. eine verlängerte Regenerationsbetriebsphase.

#### Patentansprüche

1. Abgasreinigungsverfahren für eine magerbetreibbare Brennkraftmaschine, bei dem
  - in einer Magerbetriebsphase der Brennkraftmaschine emittierte NOx-Verbindungen in einem im Abgastank der Brennkraftmaschine befindlichen NOx-Speicherkatalysator gespeichert werden, wobei eine Beladung des NOx-Speicherkatalysator mit NOx-Verbindungen stattfindet,
  - die Brennkraftmaschine zeitweise in Regenerationsbetriebsphasen betrieben wird, in denen der NOx-Speicherkatalysator die gespeicherten NOx-Verbindungen katalytisch umsetzt und dadurch entladen wird,
  - wobei ein Wert für einen Alterungszustand des NOx-Speicherkatalysators mittels eines die Emission an NOx-Verbindungen beschreibendes Modells ermittelt wird **dadurch gekennzeichnet**, dass
  - mittels des Modells eine Konzentration der NOx-Verbindungen stromab des NOx-Speicherkatalysators in Form eines NOx-Modellwertes ermittelt wird,
  - stromab des NOx-Speicherkatalysators im Abgastank eine Konzentration der NOx-Verbindungen in Form eines NOx-Messwertes gemessen wird und
  - die Differenz zwischen NOx-Messwert und NOx-Modellwert bestimmt und in den Wert für den Al-

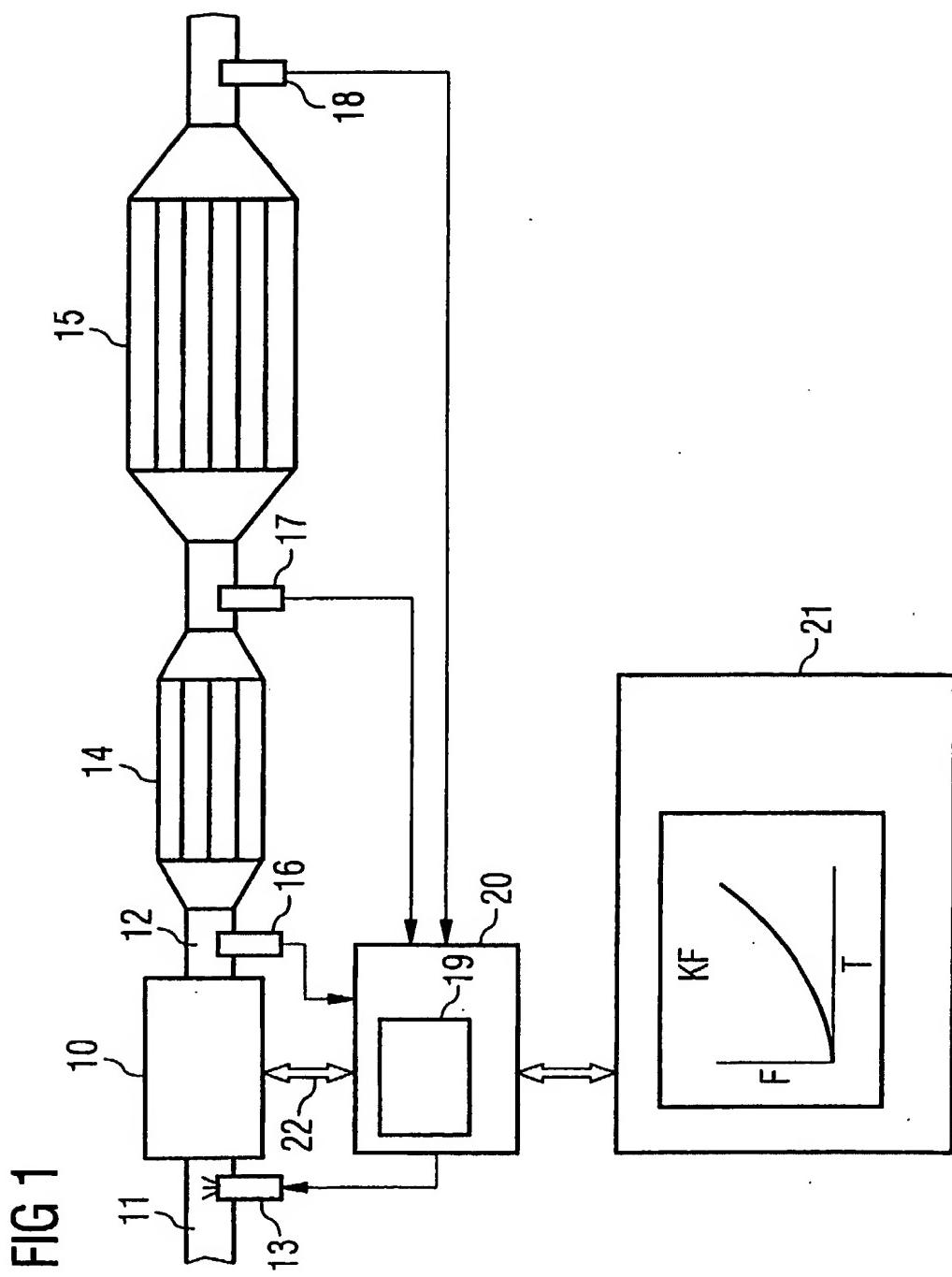
terungszustand umgesetzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der NOx-Messwert oder der NOx-Modellwert vor der Differenzbildung tiefpassgefiltert wird.

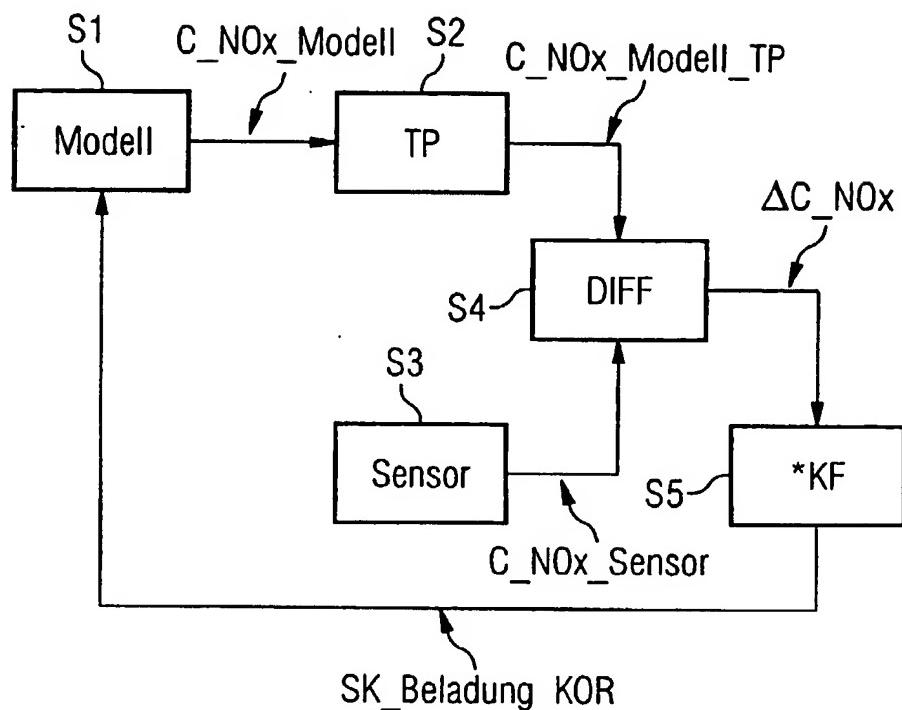
3. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Differenz vor der Umsetzung in den Wert für den Alterungszustand tiefpassgefiltert wird.

4. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrmals der Wert für den Alterungszustand ermittelt wird und tiefpassgefiltert wird.

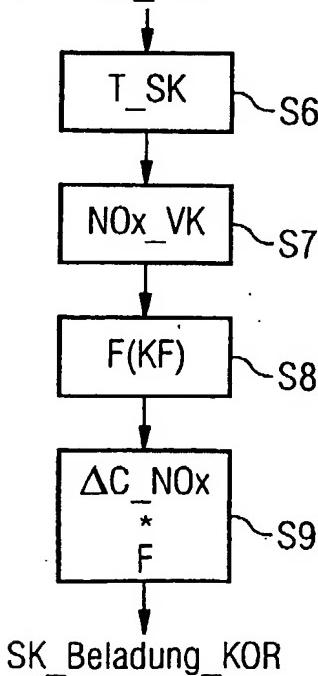
Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



**FIG 2**



**FIG 3**  $\Delta C_{NOx}$



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**